

Д.Е.дйлхан, Л.С.Алдашева
А.С.Амирова, Ә.С.Әбдіраман

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ 5G И 6G В SMART CITY: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ



Д.Едилхан, Л.С.Алдашева,
А.С.Амирова, Ө.С.Әбдіраман

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И
ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ
СЕТЕЙ 5G И 6G
В SMART CITY:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Монография



Алматы
2025

УДК 004
ББК 32.973.202
Е 33

Рекомендовано к изданию Ученым советом
ТОО «Astana IT University»
(Протокол №11 от 24.04.2025 г.)

Рецензенты:

Есмагамбетова М.М. – PhD, доцент
Қалман Г. – к.т.н., ассоциированный профессор
Абитова Г.А. – PhD, ассоциированный профессор

Авторский коллектив:

Едилхан Д. – PhD, Ассос. Профессор, Директор НИЦ “Smart City”
Алдашева Л.С. – к.т.н., ассистент профессор
Амирова А.С. – PhD, ассистент профессор
Әбдіраман Ә.С. – сеньор лектор

*Объем монографии составляет 17 н.л.,
Едилхан Д. – 3 н.л., Алдашева Л.С. – 6 н.л.,
Амирова А.С. – 6 н.л., Әбдіраман Ә.С. – 2 н.л.*

Едилхан Д., Алдашева Л.С., Амирова А.С., Әбдіраман Ә.С.
Е33 Повышение надежности и пропускной способности сетей
5G и 6G в smart city: теоретические основы и практические
решения / Д. Едилхан, Л.С. Алдашева, А.С. Амирова, Ә.С.
Әбдіраман. – Алматы: Дарын, 2025. – 268 с.

ISBN 978-6017698-17-1

В работе рассмотрена эволюция и современные тенденции развития сетей 5G и 6G, с акцентом на анализ методов повышения их надежности и пропускной способности. Особое внимание уделено архитектурным принципам мобильных сетей, проблемам их функционирования в условиях плотной городской застройки, а также перспективным технологиям оптимизации, включая искусственный интеллект и машинное обучение.

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК в рамках программно-целевого финансирования BR24992852 «Разработка интеллектуальных моделей и методов цифровой экосистемы Smart City для устойчивого развития города и повышения качества уровня жизни горожан».

УДК 621.396.93
ББК 32.973.202

© Едилхан Д., Алдашева Л.С.,
Амирова А.С. Әбдіраман Ә.С., 2025
© Издательство Дарын, 2025

ISBN 978-6017698-17-1

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗВИТИИ СЕТЕЙ 5G И 6G	8
1.1 Основные архитектурные принципы сетей 5G	8
1.2 Перспективы сетей 6G: отличия и эволюция	16
1.3 Проблемы надежности и пропускной способности в условиях плотной городской застройки	34
1.4 Роль искусственного интеллекта и больших данных в решении задач сетей 5G и 6G	43
1.5 Анализ мирового опыта измерения и оценки производительности мобильных широкополосных сетей.....	50
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ	58
2.1 Принципы обеспечения надежности телекоммуникационных сетей	58
2.2 Модели пропускной способности для сверхплотных сетей	67
2.3 Методы управления интерференцией в городских условиях	72
2.4 Теория хэндовера: подходы к обеспечению бесперебойной связи .	
75 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ 5G И 6G	
87 3.1 Исследование методов повышения пропускной способности и надежности сетей 5G в условиях плотной городской застройки	87
3.2 Оптимизация устойчивости мобильности на основе технологий искусственного интеллекта в сверхплотных сетях 5G.....	94
3.3 Управление функциями оптимизации балансировки нагрузки в сетях 5G	105
3.4 Эффективные модели принятия решений по хэндоверу на основе технологий AI в сверхплотных сетях 5G	122
4 ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ В СЕТЯХ 5G И 6G	133

4.1 Имитационные модели для оценки производительности сетей.....	133
4.2 Разработка мобильного приложения для динамического сбора данных измерений в реальном времени.....	135
4.3 Проектирование панели мониторинга для визуализации и анализа собранных данных большого объема в режиме реального времени	160
4.4 Интеграция с облачными сервисами для хранения и обработки данных.....	167
4.5 Исследование и разработка моделей искусственного интеллекта, системы управления мобильностью и инструментов анализа больших данных.....	172
5 ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ OPEN-RAN ДЛЯ 5G И 6G	185
5.1 Концепция Open-RAN: ключевые особенности	185
5.2 Стандарты и требования к внедрению Open-RAN	195
5.3 Возможности интеграции Open-RAN с искусственным интеллектом	201
5.4 Open RAN и интеллектуальные технологии в сетях 6G	205
6 БЕЗОПАСНОСТЬ И КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ В СЕТЯХ 5G И 6G	209
6.1 Анализ угроз и защитных механизмов в сетях 5G и 6G	209
6.2 Исследование технологий защиты и конфиденциальности	219
6.3 Конфиденциальность и будущее защиты данных.....	223
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	240
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	243

ВВЕДЕНИЕ

Современные беспроводные сети связи играют ключевую роль в развитии цифровой инфраструктуры, обеспечивая высокоскоростной доступ к данным, поддержку интернет-вещей (IoT) и новые технологические возможности в области искусственного интеллекта, облачных вычислений и автоматизации. Текущий этап эволюции мобильных сетей сосредоточен на развертывании технологий 5G, обеспечивающих повышенную пропускную способность, минимальную задержку и надежность соединения. Однако уже сегодня ведутся исследования в области шестого поколения (6G), которое предполагает еще более высокие скорости передачи данных, интеллектуальное управление ресурсами и глубокую интеграцию с системами искусственного интеллекта. 6G-сети предполагают использование новых диапазонов частот, таких как терагерцевый спектр, что открывает дополнительные возможности для увеличения скорости передачи данных и снижения задержек до ультранизкого уровня.

Настоящая монография посвящена анализу современных тенденций в развитии сетей 5G и 6G, изучению ключевых проблем, таких как надежность соединения и пропускная способность в условиях плотной городской застройки, а также рассмотрению методов повышения эффективности работы телекоммуникационных сетей. Особое внимание уделено таким технологиям, как искусственный интеллект (AI) и машинное обучение (ML), которые находят все более широкое применение в управлении мобильностью пользователей и балансировке нагрузки в сети. Эти технологии позволяют операторам связи внедрять механизмы предсказания пользовательского поведения и адаптивного управления ресурсами сети, что существенно повышает её общую эффективность и стабильность работы.

Отдельный раздел монографии посвящен концепции Open-RAN (Open Radio Access Network) – архитектуре, основанной на принципах открытости и интероперабельности компонентов

Научное издание

Д.Едилхан, Л.С.Алдашева,
А.С.Амирова, Ө.С.Әбдіраман

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ
СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ 5G И 6G
В SMART CITY: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ**

Монография

*Верстка: Ким А.
Дизайнер обложки: Байсеитова А.*

Подписано в печать 04.05.2025. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Объем 17,0 п.л. Тираж 500 экз.

ТОО "Издательство Дарын"
г. Алматы, ул. Жамбыла 114/85,
БЦ Бизнес-Сити, Литер Д, 510 каб.
info@darynbaspa.kz, +7 747 150 11 77

Отпечатано в типографии ТОО "Издательство Дарын"